

BS 프리즘을 이용한 주야 조준경 개발

이동희*

극동대학교 안경광학과, 충북 음성 369-700

투고일(2014년 08월 7일), 수정일(2014년 09월 4일), 게재확정일(2014년 9월 18일)

목적: 본 연구는 BS 프리즘의 반사면을 이용한 주야 조준경의 개발에 관한 것이다. **방법:** BS(beam splitting) 프리즘의 반사면의 상하에 도트시표발생부와 LCD 패널을 배치하고, BS 프리즘 전방에는 doublet 형태로 설계된 반사경을 배치하였다. 이렇게 함으로써 도트시표 발생부에서의 도트시표 허상을 관찰자 쪽에 결상시키도록 하는 기능, 외부 목표물 주변부의 정보는 관찰자에게 1배로 보이도록 하는 기능과 LCD 패널의 영상을 직접 관찰자가 볼 수 있게 하는 기능을 가진 새로운 형태의 BS 프리즘을 이용한 주야 조준경을 개발하였다. **결과:** BS 프리즘의 반사면이 도트 시표를 반사시키는 도트사이트로서의 역할과 LCD 패널에 디스플레이된 야간 열영상을 관찰자가 관찰할 수 있도록 하는 반사 광학계 역할을 하도록 함으로써 주간에는 도트사이트로서 주간조준경 기능을, 야간에는 열영상 디스플레이 장치로서 야간조준경 기능을 하는 주야 조준경 장치를 개발하였다. **결론:** 본 연구에서 우리는 기존의 도트사이트와 기존의 야간조준경을 BS 프리즘을 이용하여 결합함으로써 선택적으로 주야 조준경 역할을 할 수 있는 주야 조준경을 개발하였다. 이렇게 함으로써 우리는 기존의 도트사이트와 야간조준경의 착탈식 조합보다 사격의 신속성을 더욱 높일 수 있으며 총기류에의 장착에 있어서 보다 편리함을 제공해주는 새로운 형태의 BS 프리즘을 이용한 주야 조준경을 설계 개발할 수 있었다.

주제어: BS 프리즘, 도트 사이트, 시차, 야간조준경, LCD 패널

서 론

총기류의 특성은 신속하게 조준 사격을 할 수 있는지와 정확하게 표적을 조준할 수 있는지에 의해 좌우된다. 일반적으로 총기류의 조준은 기능자와 기능쇠의 정렬 선을 사격 목표점에 일치시킴으로서 이루어진다. 총기 몸체 상부에 위치하는 기능자와 총열의 끝단에 위치하는 기능쇠와 사격 목표점의 고정식 3점 조준선에 의한 조준은, 그 총기를 사용하는 사용자의 숙련도에 따라서 정확한 사격을 가능하게 한다. 그러나 상기 고정식 3점 조준선에 의한 조준은 작은 진동이나 떨림에도 조준선 정렬이 어려워지고, 근거리 사격이나 급박한 상황에서 신속하게 조준하기에도 어려움이 따른다.^[1]

위와 같은 문제점을 해결하기 위해, 정렬에 어려움이 있는 고정식 3점 조준선을 없애면서 간단하게 조준점(도트)과 목표점의 비고정식 2점 정렬을 이용하는 광학식 도트사이트 장치가 제안되었다.^[1-3] 이러한 도트 사이트는 조준점이 사이트의 유효 윈도우 내에 어디에 있더라도 조준점

(비고정 조준점)과 목표점을 일치시키는 비고정식 2점 조준선을 가지기 때문에 기존의 고정식 3점 조준선 정렬 방식보다는 사격에 대한 시야를 넓게 할 수 있을 뿐만 아니라 사격에 걸리는 시간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 그러나 요즘은 주간 뿐만 아니라 야간에도 정확한 사격을 하기 위한 조준경이 요구되고 있고 이에 대응하기 위해 일부에서는 Fig. 1(a), (b)에서와 같이 기존 도트사이트 다음에 야간조준경을 피카티니(picatinny) 레일 위에 장착 고정하여 사용하는 방식을 채택하고 있다.

본 논문에서는 Fig. 1 방식의 주야조준경의 단점을 알아보고, 이러한 단점을 해결할 수 있는 새로운 형태의 BS(beam splitting) 프리즘을 이용한 주야 조준경 장치의 개발과정을 알아보고자 한다.

기존 야간조준경 착탈식 도트사이트 방식 주야 조준경의 문제점 및 새로운 제안

기존의 야간조준경 착탈식 도트사이트 방식 주야 조준

*Corresponding author: Dong-Hee Lee, TEL: +82-43-880-3808, E-mail: dhlee99@hanafos.com

※본 연구는 신학협동재단의 2013 신진교수 연구비 지원사업(과제명 “BS 프리즘을 이용한 주야 조준경 개발” 2013.07.01.~2014.06.30. 참여기업: 동인광학(주))의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

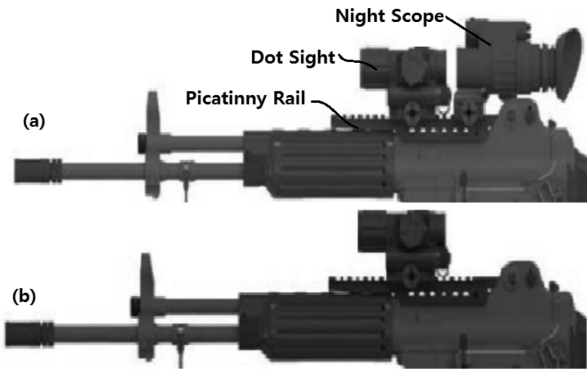


Fig. 1. Traditional day&night scope composed of a dot sight and a removable night scope. ((a) shows how to use at night time, (b) shows how to use at day time. the night scope should be removed from the picatinny rail in order to use at day time)

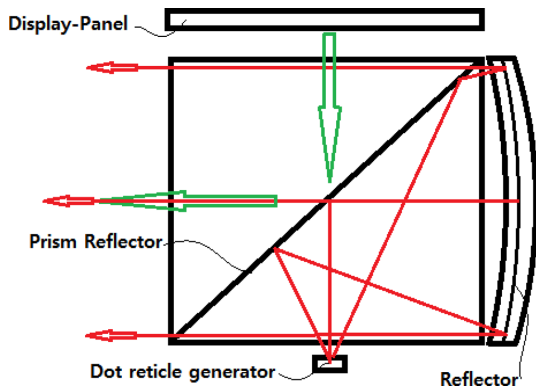


Fig. 2. Configuration of a new optical system for the day & night scope with a BS prism and a doublet reflector.

장치⁶⁾의 경우, Fig. 1(a)와 (b)에 보인 것과 같이 주간 사격을 해야 할 때에는 후방 야간조준경을 피카티니 레일에 제거하여 사용하여야 하고, 야간 사격 시에는 다시 장착하여야 하는데 이 경우 야간조준경의 장착 반복으로 인한 전방의 도트사이트의 광축과 야간조준경의 광축이 일치하지 않음으로서 사격의 영점 조정이 흐트러지기도 하여 명중률 저하를 가져오기도 한다. 따라서 명중률 저하를 유발시키지 않으려면 야간조준경의 장착 반복 작업이 이루어지지 않는 구조의 조준경이 필요한데, 이러한 조준경이 아직 개발되어 있지 않은 상황이다.

그런데 Fig. 2에서 살펴보면 기존 BS 프리즘 도트사이트⁵⁾에 사용되는 BS 프리즘의 상단면을 야간 열영상 카메라에 의한 야간영상 디스플레이 소자(LCD, OLED, LCOS 등)를 마련해둔다면 Fig. 1과 같은 경우처럼 야간조준경을 주야 사용에 따라 착탈시키는 작업을 하지 않는 새로운 형태의 주야 조준경의 광학계를 얻을 수 있게 됨을 알 수 있다. 즉 주간에는 도트사이트 발생부의 도트사이트 광선들을 프리즘 반사면과 전방에 위치한 반사경에 반사시켜, 목표

물과 그 주변에서 프리즘으로 입사하는 광선들과 겹쳐서 관찰자의 눈에 들어오게 함으로서 주간 도트사이트 역할을 하게하고, 야간에는 열영상소자(thermal imaging detectors), 영상증폭관(IIT: image intensifier tubes), ICCD(Intensified CCD) 등에 의한 야간 영상을 디스플레이 패널(LCD, OLED, LCOS 등)에 디스플레이하여 이 영상을 직접 프리즘 반사면에 반사시켜 관찰자의 눈으로 입사시키도록 하여 야간 조준경의 역할을 하게함으로서, 주야 사용에 따라 일부 광학계를 착탈시키지 않게 하는 새로운 광학계를 구성할 수 있게 되는 것이다.

BS 프리즘을 이용한 주야 조준경의 광학적 설계

우리는 상기에 제시된 아이디어를 실현하기 위해 도트사이트 발생부와 반사경의 사이에 빔 스플리터 역할을 하는 BS 프리즘⁷⁾을 배치하되 시차를 최소화하기위해 반사경의 광축을 BS 프리즘의 반사 또는 투과하는 광축과 일치하도록 하고, BS 프리즘의 상단부에 LCD 패널을 배치함으로써, 착탈식 광학계가 없는 주야 조준경 역할을 할 수 있는 새로운 형태의 주야 조준경을 설계할 수 있었다. 즉 경통의 내측 전방에 배치되는 반사경, 광선을 반사 또는 투과하는 경사면이 형성되어 경통의 내부에서 상기 반사경의 후방에 배치되는 BS 프리즘, 상기 BS 프리즘과 경통의 내주면 일측에 배치되어 상기 BS 프리즘의 경사면을 향해 도트사이트 광선을 제공하는 도트사이트 발생부, 경통의 내주면 일측에 배치되어 상기 BS 프리즘의 상기 도트사이트 발생부의 반대측 경통의 내주면 일측에 배치되는 LCD 패널 등을 포함하여 주 광학계를 구성하였다. 상기 BS 프리즘의 경사면은, 도트사이트 발생부로부터 제공되는 도트사이트 광선을 반사경을 향해 반사시키고 반사경으로부터 BS 프리즘을 향해 되반사 되는 도트사이트 광선을 관찰자를 향해 투과시키는 것과 동시에, 반사경을 투과한 외부 목표물과 그 주변으로부터의 광선을 관찰자를 향해 투과시킬 수 있도록 하면서 상기 LCD 패널의 영상을 관찰자에게 반사시키도록 하는 다층 박막 코팅으로 이루어지는 것을 특징으로 하는 BS 프리즘을 갖는 주야조준경을 구성할 수 있었다.

광학계 설계는 CodeV 광학 설계 프로그램을 사용하였다.⁸⁾

Fig. 3는 가로 × 세로 × 높이가 100 mm × 56 mm × 56 mm인 직육면체 형태의 BS프리즘 전방에 doublet 형태의 반사경이 있는 도트사이트 광학계의 3D 외관모습을 보여주고 있고, Fig. 4은 측방에서의 광선추적을 보여주고 있다. 일반적인 사람 눈의 PD(약 64 mm)보다 큰 프리즘의 가로의 길이(100 mm)를 갖도록 설계하는 이유는 조준경을 통하여 양안 주시가 가능하도록 하여 주시 물체에 대한 양안 추적이 가능하도록 하기 위함이다.

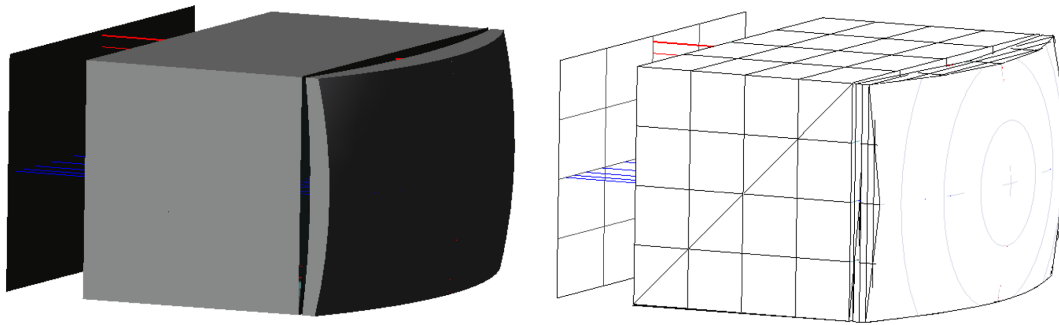


Fig. 3. 3D configuration and ray tracing for the new designed day&night scope with a BS prism.

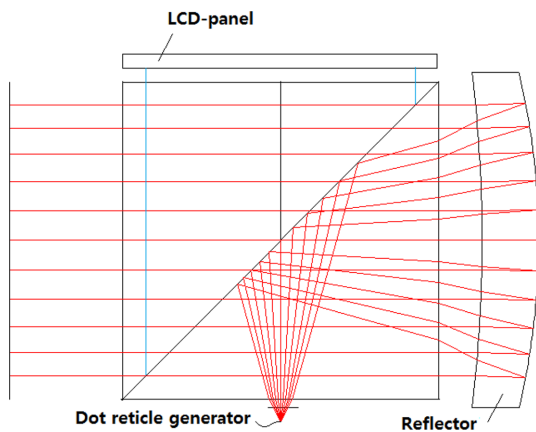


Fig. 4. 2D ray tracing in the lateral view for the new designed day&night scope with a BS prism.

도트시표 발생부에서 나오는 645 nm 파장의 LED 광원으로 만들어진 원형 형태의 도트시표의 광선들은 BS 프리즘의 경사면에 반사되어 Fig. 4의 오른쪽에 있는 doublet의 제1렌즈의 2면에 반사되어 다시 왼쪽으로 시차(parallax)^[5]가 최소화된 상태로 진행하여 관찰자의 눈에 이르게 되는 것이다. 한편 경사면의 코팅을 가시영역에서 70% 투과 30% 반사하는 코팅을 하였고, doublet 반사경의 1면과 3면은 가시영역에서 무반사 코팅을, 2면은 645 nm 파장 대역의 빛이 50% 반사하도록 하여 관찰자가 목표물을 향해 전방을 주시할 때 시야가 어두워지는 정도를 상당히 완화할 수 있었다. 또한 야간 사용 시 LCD 패널에서의 빛이 BS 프리즘의 경사면에서 30% 반사하여 관찰자 방향으로 향하게 함으로서 야간 조준경의 역할을 할 수 있도록 하였다. Fig. 5는 설계되어진 새로운 형태의 주야조준경 광학계의 유한광선 수차도를 보여주고 있는데 가로×세로가 100 mm × 56 mm인 주시시야에서 약 0.82분 정도의 시차(parallax)를 보여주고 있다.

이는 목표물이 전방 500 m 있을 때 $500 \times \tan\left(\frac{0.82}{60}\right) \approx 0.119$ m로 계산되므로 사격의 명중의 정확도는 최대 직경 약 0.119 ± 0.050 m 이내가 됨을 보여 준다.

Table 1은 최적화 설계되어진 새로운 형태의 주야조준경

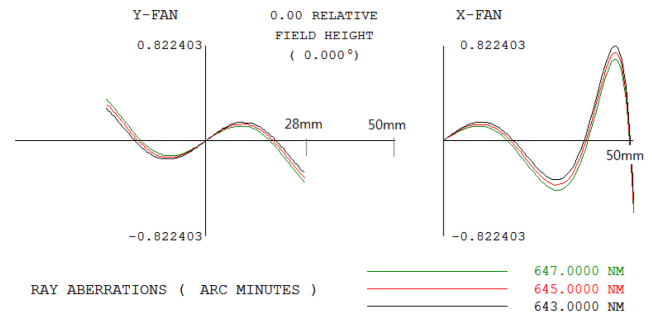


Fig. 5. Diagram of finite ray aberrations for the new designed day&night scope with a BS prism.

Table 1. Design data of the new designed day&night scope with a BS prism

EFL = -50.3627				
WAVELENGTHS [nm]	645.00	647.00	643.00	
# SURF	RADIUS	SEPN	INDEX1	CLR APE
1 DS	Plane	0.000	1.000	
2 DS	Plane	56.000	NLAF2	100*56
3 DS	-249.714	7.642	1.000	100*56
4 DMS	-129.497	10.000	BK7	100*56
5 DS	-249.714	-10.000	BK7	100*56
6 DS	Plane	-7.642	1.000	100*56
7 DS	Plane	0.000	1.000	100*56
8 DS	Plane	-56.000	NLAF2	100*56
9 DS	Plane	-4.000	1.000	100*56

광학계의 설계 데이터를 보여 주고 있는데, 이 설계에서 반사경의 초차를 BK7으로 했을 때 프리즘의 초차는 NLAF2로 최적화 되었는데 실제 프리즘 초차를 BK7으로 했을 때 보다 100 mm × 56 mm(가로 × 세로)인 주시시야에서 최대 16배 이상 시차량의 감소(13.5분에서 0.82분으로 감소)가 있음을 확인할 수 있었다. 이는 프리즘으로서의 NLAF2 초차와 반사경으로서의 BK7 초차의 조합이 현재 주시시야 크기에서 시차를 최소화할 수 있는 최적의

조합임을 나타낸다.

Table 1의 9번 surface에서 프리즘과 4 mm 간격을 가지는 상면을 설정한 것은 도트시표 발생부를 위치하기 위한 공간을 확보하기 위해서이다. Fig. 2와 3에서 보면 doublet 반사경의 3면이 도시 되지 않았는데 이 면은 실제 CodeV로는 설계할 수 없기 때문에 표시가 되어 있지 않는 것이다. doublet 반사경의 3면의 곡률반경과 2면과 3면사이의 두께는 목표물을 향하는 관찰자의 주시선에 대한 배율이 발생되지 않도록 하는 어포칼 조건^{9,10}에 의해 결정되기 때문에 이는

$$D'_1 + D'_2 - \frac{t}{n} D'_1 \times D'_2 = 0 \tag{1}$$

(단 $D'_1 = \frac{n-1}{r_1}$, $D'_2 = \frac{1-n}{r_3}$, n 은 doublet 반사경의 굴절률, t 는

Table 2. Surface data for the doublet reflector of the new designed day&night scope with a BS prism

# of surface	Radius of surface (mm)	Thickness (mm)
1	-249.714	10
2	-129.497	5
3	-254.811	

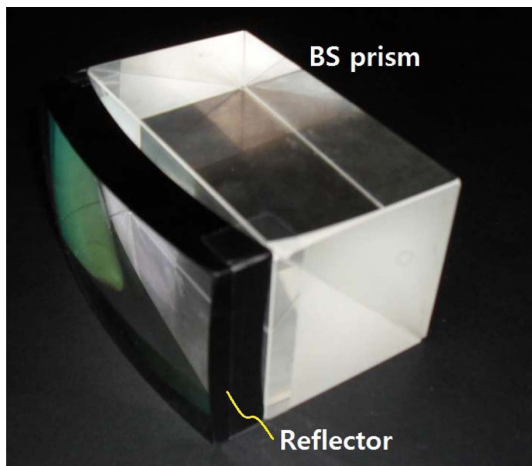


Fig. 6. Doublet reflector and BS prism manufactured by data of Table 1 and 2.

doublet 반사경의 중심 두께, r_1 은 제 1면의 곡률반경, r_3 는 제 3면의 곡률반경)을 계산해서 얻을 수 있다.

이렇게 계산되어 결정된 doublet 반사경의 설계 데이터는 Table 2에 나타나 있다.

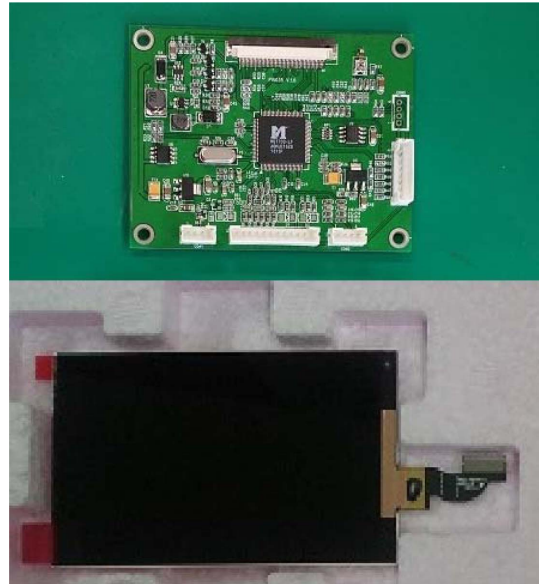


Fig. 8. Driving PCB and LCD panel for the new designed day & night scope with a BS prism.



Fig. 9. Fabricated configuration for the new designed day & night scope with a BS prism.

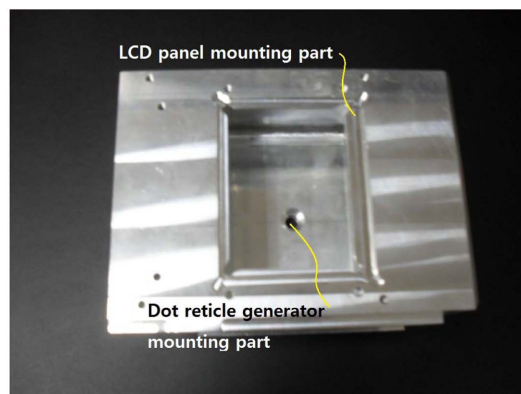
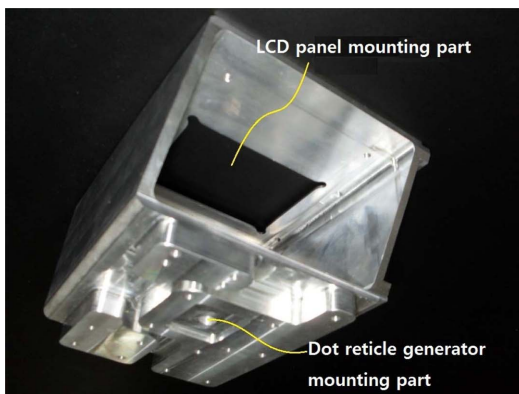


Fig. 7. 3D drawing of barrel for the new designed day&night scope with a BS prism.

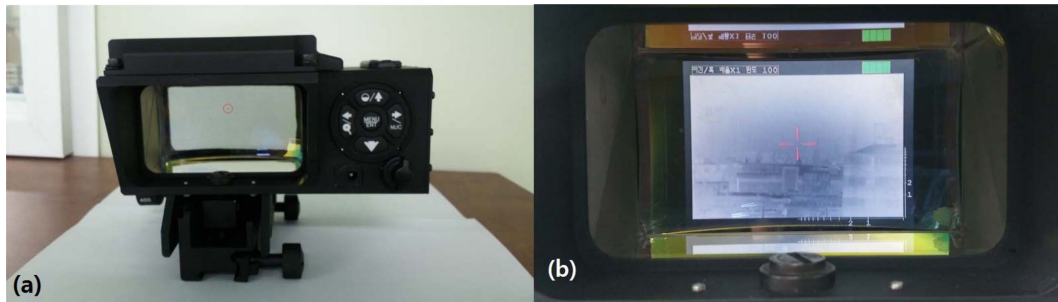


Fig. 10. Photos for the day operating mode(a) and the night operating mode(b) of the new designed day&night scope with a BS prism.

BS 프리즘을 이용한 주야 조준경의 제작

Fig. 6에는 Table 1, 2의 데이터에 의해 만들어진 doublet 반사경과 BS 프리즘을 보여주고 있는데 주야조준경 하우징에 넣기 위한 doublet 반사경과 BS프리즘이 발삼 접합된 상태를 보여주고 있다. Fig. 7은 Fig. 6의 발삼 접합된 doublet 반사경과 BS 프리즘이 결합된 광학계가 장착될 경통의 실제 가공 후 아노다이징 작업 전의 3D 형상을 보여주고 있다. Fig. 8은 열영상 카메라에 의한 야간영상을 디스플레이할 LCD 패널과 구동 PCB를 보여주고 있는데 사용된 LCD 패널은 4.5" 크기로 16:9의 화면비를 구성하고 있다. Fig. 9은 제작되어진 BS 프리즘을 이용한 주야조준경을 보여주고 있는데, 구동 컨트롤 박스에 가려 보이지 않는 열영상 카메라부를 보여주기 위해 분리하여 배치해서 촬영하였다. 여기에 사용된 열영상 카메라는 비냉각식 microbolometer 방식의 소자를 사용한 영상 디텍터를 사용하였고 결상용렌즈는 Ge, ZnSe 초자를 사용하였다.

결 론

본 연구에서 우리는 기존의 도트사이트와 기존의 야간조준경을 결합하여 한 몸체로 하여 선택적으로 주야 조준경 역할을 할 수 있는 BS 프리즘을 이용한 주야 조준경을 개발하였다. Fig. 10에 나타나 있는 것과 같이 선택적으로 구동 컨트롤 박스에서의 모드 전환으로 주간에는 도트사이트로서 주간 조준경 역할(Fig. 10(a))을 할 수 있으며, 야간에는 열영상 카메라에 의한 영상을 직접 관찰하여 조준할 수 있는 야간 조준경 역할(Fig. 10(b))을 할 수 있도록 하였다. 이는 기존의 분리된 도트사이트와 야간조준경을

결합함으로써 보다 사격의 신속성을 높일 수 있으며 기존 방식에서의 야간조준경이 도트사이트 내부에 장착됨으로써 전체적인 광학적 전장길이를 기존 방식에서 보다 축소시킬 수 있어 총기류에의 장착에 있어서 보다 편리한 새로운 형태의 BS 프리즘을 이용한 주야 조준경을 설계 개발할 수 있었다.

REFERENCES

- [1] Lee DH, Park SH. Development of dot sight with 2X magnification. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2012;17(4): 435-440.
- [2] Lee DH. Development of the dot sight device by using the doublet reflector. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2008;13(1): 65-69.
- [3] Donald D Morris. OFF AXIS OPTICAL SIGHT SYSTEM FOR A FIREARM. U.S. Patent 4346995, 1982.
- [4] Per Montelin Lund. OPTICAL ELEMENT OF A PARALLAX FREE SIGHT. U.S. Patent 5440387, 1995.
- [5] Lee DH, Jung BS, Park SH. Development of dot sight with prism beam splitter. J Korean Ophthalmic Opt Soc. 2013;18(4):519-524.
- [6] NewDaily. Nighttime shooting-hit rate, 90% if you stick this only, 2013. <http://www.newdaily.co.kr/news/article.html?no=158168>, (25 July 2014).
- [7] Warren JS. Modern Optical Engineering, 4th Ed. New York: McGraw-HILL. 2007;136-154.
- [8] User Manual, CodeV Version 10.4. California: Optica; Research Associates. 2012.
- [9] Freeman MH, Hull CC. Optics, 7th Ed. Oxford: Butterworth-Heinemann. 2003;197-199.
- [10] Herbert G. Handbook of Optical System, Vol. 1. New York: WILEY-VCH. 2005;44-53.

Development of Day and Night Scope with BS Prism

Dong-Hee Lee*

Dept. of Visual Optics, Far East University, EumSeong 369-700, Korea

(Received August 7, 2014; Revised September 4, 2014; Accepted September 18, 2014)

Purpose: This study relates to the development of the day and night scope using the reflecting surface of a BS (beam splitting) prism. **Methods:** We have placed the LCD panel and the dot reticle generator to the top and bottom of the reflecting surface of the BS prism, and have placed a reflector, which is designed to doublet type, in the front of the BS prism. Doing so, we have developed a new type of day and night scope, which is able to image the virtual image of dot reticle from the dot reticle generator to the direction of the observer, to make the observer survey the peripheral information of the outside target by 1x magnification, and to make the observer survey the image of the LCD panel directly. **Results:** We could develop a new type of day and night scope, which has the function of night scope as thermal image display device at night time and the function of day scope as dot sight at day time, by letting the reflective surface of the BS prism have the role of dot sight which reflects the dot reticle and have the role of reflective optical system by which the observer surveys the night thermal image displayed in LCD panel. **Conclusions:** In this study, we have developed the new type of day and night scope which is able to play the role of the day or night scope selectively, combining the existing dot sight and the existing night scope by using the BS prism. By doing so, we could design and fabricate the new type of day and night scope with the BS prism which can further increase the rapidity of firing and provide more convenience in the mounting of a firearm than the detachable combination of an existing dot sight and an existing night scope.

Key words: BS prism, Dot sight, Parallax, Night scope, LCD panel